

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ВОЛН СВЧ-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗОНЫ ДЕСТРУКЦИИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

С.В. Васильев, Н.В. Жаркий, А.Ю. Иванов

Гродненский государственный университет им. Я. Купалы,
ул. Ожешко, 22, Гродно, 230023, Беларусь, ion_ne@mail.ru

Рассмотрены основные методы исследования формы поверхности образовавшегося на подвергающейся лазерной обработке металлической пластине кратера. Показана перспективность использования дифракции СВЧ-излучения для определения геометрических параметров зоны разрушения в реальном масштабе времени. Обнаружено существенное различие между дифракционными картинками некоторых объектов. Показано, что по отличительным чертам кривой дифракционного отражения можно с определенной точностью решить обратную задачу об определении характера дефектов на поверхности подвергнутого лазерному воздействию образца. Показано, что зарегистрировав дифракционную картину, возникающую при падении СВЧ излучения на поверхность твердого тела и добившись в ходе эксперимента наилучшего совпадения данных эксперимента и расчета с использованием компьютерной модели, можно определить характер рельефа зоны деформаций на поверхности обрабатываемой структуры.

Введение

Лазерные установки и технологические линии в настоящее время достаточно широко используются в машиностроении, автомобилестроении, самолетостроении, часовой, электронной промышленности и ряде других отраслей [1–5]. По экономическим показателям во многих видах работ они успешно конкурируют с традиционными средствами обработки материалов. В последние годы большое внимание уделяется изучению возможности избирательного воздействия лазерного излучения на процессы, протекающие в твердом теле, на структуру материалов, на рост и разрушение кристаллов [6–8]. К преимуществам лазерных технологий относится отсутствие непосредственного контакта между источником энергии и материалом.

Тем не менее, пока доля лазерного оборудования, используемого в народном хозяйстве и, в частности, в промышленности, невелика. Одним из важнейших факторов, сдерживающих широкое внедрение лазеров в промышленность и другие отрасли экономики и социальной сферы, является недостаточный уровень понимания основных физических процессов, определяющих специфику лазерной обработки материалов.

При взаимодействии лазерного излучения с материалами протекает ряд сложных взаимосвязанных явлений, в различной степени проявляющихся в конкретных процессах лазерной обработки: поглощение лазерного излучения на поверхности материала, его нагрев и распространение тепла; термоупругие деформации и термическое разрушение материала; плавление материала и испарение его с поверхности; движение расплава под действием отдачи паров или плазмы оптического пробоя окружающего газа или жидкости и сил поверхностного натяжения, приводящее к его выплеску, переносу или конвективному перемешиванию; оптический пробой паров материала или окружающего газа и формирование плазменного факела, собственное излучение которого может вносить основной вклад в нагрев материала; пластическая деформация материала давлением паров или плазмы оптического пробоя; распространение лазерного излучения через

плазму, сопровождающееся его поглощением, рефракцией и, в конечном счете, изменением пространственно-временной структуры лазерного излучения, достигающего обрабатываемой поверхности; взаимодействие окружающего газа или паров жидкости и плазмы пробоя с расплавом материала, приводящее к насыщению расплава различными элементами и добавками; охлаждение и затвердевание расплава, сопровождающиеся структурно-фазовыми и химическими превращениями.

Не менее важным оказалось изучение указанных процессов и для разработки способов непрерывного неразрушающего контроля соблюдения режима обработки материала, особенно в реальном времени (то есть непосредственно в ходе технологического процесса).

Данная работа посвящена исследованию возможности определения геометрических параметров зоны разрушения в реальном масштабе времени. Изучение данного вопроса необходимо как для выбора наиболее эффективных режимов лазерно-плазменной обработки материалов, так и для создания новых, более современных методов диагностики и контроля процесса лазерной обработки материалов.

Результаты расчетов

Моделирование и проведение расчетов реализовывались в программном пакете CST Microwave Studio – система моделирования СВЧ устройств, в основе которой лежат метод аппроксимации и метод определенных интегралов во временной области [9].

Были получены дифракционные картины от моделей структур с различной периодичностью диэлектрической проницаемости, включая периодические структуры с некоторыми видами нарушениями периодичности и дефектами (рис. 1).

Параметры структуры, приведенной на рис. 1, выглядят следующим образом: прямоугольные диэлектрики размером $1 \times 1 \times 9$ мм и количеством 9×9 , диэлектрическая проницаемость $\epsilon_1=100$, $\epsilon_2=200$, $\epsilon_3=300$. Диаграммы направленности (рис. 2) получены в СВЧ диапазоне при частоте $f = 10.0$ ГГц.

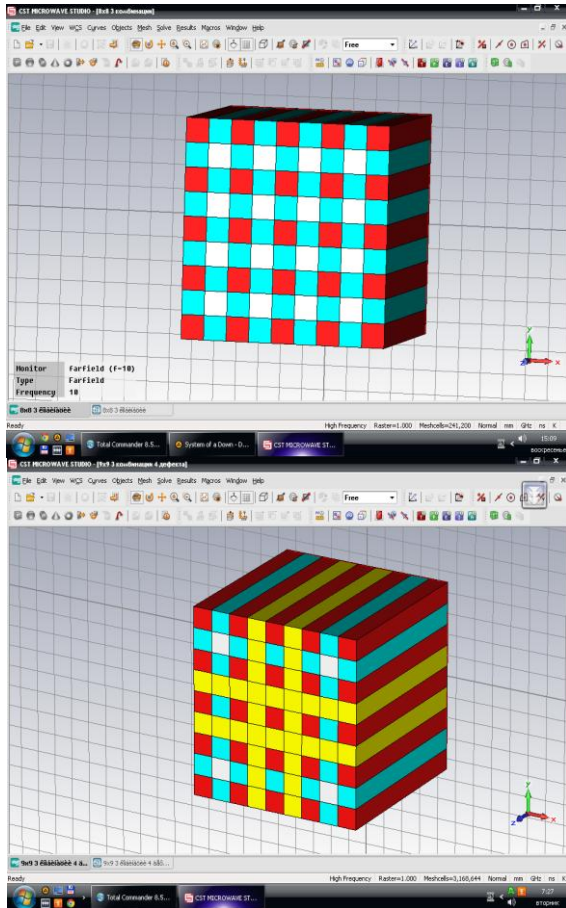


Рис. 1. Компьютерные модели в продукте CST Microwave Studio.

По результатам моделирования (рис. 2) обнаружено существенное различие между дифракционными картинками некоторых объектов. По отличительным чертам кривой дифракционного отражения можно с определенной точностью решить обратную задачу об определении характера дефектов на поверхности структуры.

Для структур были также получены спектры пропускания волн СВЧ диапазона (рис. 3), которые также носят различный характер.

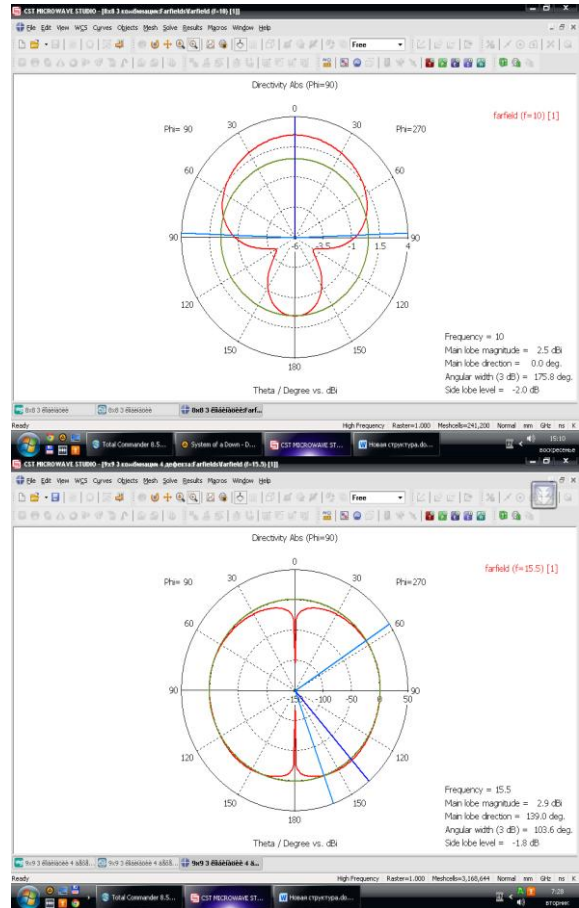


Рис. 2. Диаграмма направленности структур при частоте $f = 10.0$ ГГц.

Заключение

Таким образом, зарегистрировав дифракционную картину, возникающую при воздействии СВЧ излучения на поверхность твердого тела, и добившись в ходе эксперимента наилучшего совпадения данных эксперимента и расчета с использованием компьютерной модели, можно определить характер рельефа зоны деформаций на поверхности обрабатываемой структуры.

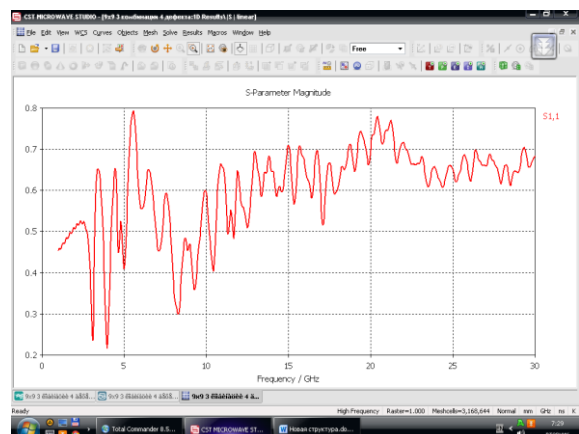
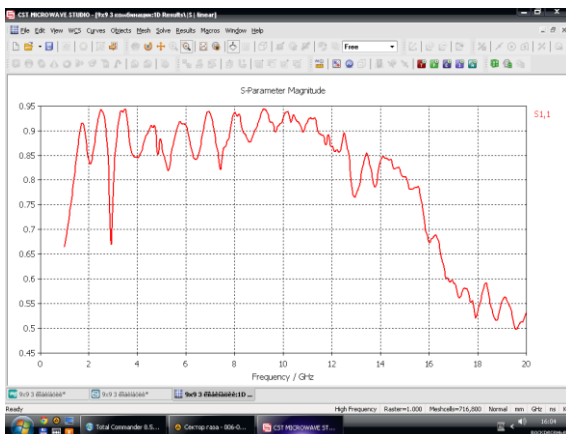


Рис. 3. Спектр пропускания СВЧ волны при диапазоне частот 0 - 20 ГГц.

Список литературы

1. Арутюнян Р.В. [и др.] Воздействие лазерного излучения на материалы / М.: Наука, 1989. 368 с.
2. А.В.Зайцев [и др.]. Лазерная резка толстых стальных листов при использовании сверхзвуковой струи кислорода // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 9. С. 891 – 892.
3. Гладуш, Г.Г., Глова А.Ф., Дробязко С.В. Особенности сварки металлов излучением импульсно-периодического Nd:YAG-лазера малой мощности // Квантовая электроника. 2006. Т. 36. № 11. С. 1080 – 1082.
4. Басиев Т.Т. [и др.] Лазерная прошивка сверхглубоких микронных отверстий в различных материалах при программируемом управлении параметрами лазерной генерации // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 1. С. 99 – 102.
5. Климентов С.М. [и др.] Лазерная микрообработка в газовой среде при высокой частоте повторения аблирующих импульсов // Квантовая электроника. 2004. Т. 34. № 6. С. 537 – 540.
6. Кононенко В.В. [и др.] Влияние длительности импульса на графитизацию алмаза в процессе лазерной абляции // Квантовая электроника. 2005. Т. 35. № 3. С. 252 – 256.
7. Вейко В.П., Клеу К.К. Лазерная аморфизация стекло-керамик: основные закономерности и новые возможности изготовления микрооптических элементов // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 1. С. 92 – 98.
8. Кононенко В.В. [и др.] Фотоиндуцированное лазерное травление алмазной поверхности // Квантовая электроника. 2007. Т. 37. № 11. С. 1043 – 1046.
9. CST Studio Suite 2009. Workflow&Solver Overview. [Электронный ресурс]. 2013. Режим доступа: <http://www.cst.com>. Дата доступа: 07.09.2014.

USE OF SHF-DIAPASON WAVES DIFFRACTION FOR THE DESTRUCTED ZONE EVOLUTION DIAGNOSTICS DURING LASER TREATING OF MATERIALS.

S.V. Vasiliev, N.V. Zharkiy, A.YU. Ivanov
Grodno State University, Ozheshko 22, Grodno, 230023, Belarus, ion_ne@mail.ru

The purpose of research was to develop the new method of determination of geometrical parameters of destructed zone in real time scale. Investigation of this object is indispensable as for chose of most effective regime of materials laser treating too for development of new contemporary methods of diagnostics and control of the of laser treating of matters running. The main methods of investigation of the form of surface of crater appearing on the metal plate being under laser treating were described. The perspectives of SHF-radiation diffraction use for the determination of geometrical parameters of destructed zone in real time scale was shown. Considerable difference between diffraction pictures of some objects was discovered. It was shown that using the distinctive parameters of diffractive reflection curve one can solve with the definite precision the reverse problem of character of defects of the surface of structure being under treating determination. It is pointed that having detected a diffraction picture appearing on incidence of SHF-radiation on the surface of solid and having achieved during the experiment the best coincidence of the experimental and calculated using the computer model data one can define the character of the zone of destruction on the surface of structure being under treatment relief. The results of this work can be applied at the industrial enterprises using laser treating of materials.